

51

19

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES

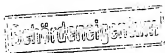


PATENTAMT

Int. Cl. 2:

H 01 J 37/04

DT 25 15 550 B 1



Auslegeschrift 25 15 550

11

21

22

43

44

Aktenzeichen: P 25 15 550.4-33
 Anmeldetag: 9. 4. 75
 Offenlegungstag: —
 Bekanntmachungstag: 7. 10. 76

50

Unionspriorität:

52 53 51

54

Bezeichnung:

Korpuskularstrahl optisches Gerät zur Abbildung einer Maske auf ein zu bestrahlendes Präparat

71

Anmelder:

Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

72

Erfinder:

Koops, Hans, Dipl.-Phys. Dr.rer. nat., 6101 Nieder-Ramstadt

56

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
 US 22 67 714
 Optik, Bd. 36, H. 1, 1972, S. 93-110

DT 25 15 550 B 1

Patentsprüche:

1. Korpuskularstrahl optisches Gerät zur Abbildung einer Maske auf ein zu bestrahlendes Präparat mit einer Strahlquelle, einem Kondensorlinsensystem, einem Stigmator, einem magnetischen Feldlinsensystem, in dem die Maske angeordnet und von zweier parallel verlaufenden Korpuskelbahnen durchsetzt ist, und einer magnetischen Projektivlinse, die das Bild der Maske in der Ebene des Präparats erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß das Kondensorlinsensystem (4) eine elektrostatische Linse ist, die über einen Spannungsteiler (14) in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung (U) der Strahlquelle (2) errichtet ist.
2. Korpuskularstrahl optisches Gerät nach Anspruch 1, dem im Strahlengang ein aus einer Objektlinse, einem Zwischenbildleuchtschirm, einer elektrostatischen Projektivlinse und einem Endbildleuchtschirm bestehendes Korpuskularstrahlmikroskop folgt, wobei die Objektlinse mit der magnetischen Projektivlinse des Gerätes zu einem magnetischen Einfeld-Kondensorobjektiv vereinigt ist, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens vier Detektoren (13, 23) für die in den Randbereich des Zwischenbildleuchtschirms (8) fallenden Korpuskeln, die durch Öffnungen in den Randbereichen der Maske gefallen sind, vorgesehen sind.
3. Korpuskularstrahl optisches Gerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß den Detektoren (13, 23) Hilfs-Abbildungssysteme (11) mit elektrostatischen Linsen vorgeschaltet sind, die entsprechende Randteile des Zwischenbildes auf die Detektoren (12, 23) abbilden und die von der Beschleunigungsspannung (U) der Strahlquelle (2) abhängig errichtet sind.
4. Korpuskularstrahl optisches Gerät nach Anspruch 3 mit Detektoren, die auf der Achse der Hilfs-Abbildungssysteme angeordnet sind und jeweils ein elektrisches Ausgangssignal liefern, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfs-Abbildungssysteme (11) jeweils ein mit Wechselspannung gespeistes Ablenkensystem (21) enthalten.
5. Korpuskularstrahl optisches Gerät nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektivlinse(n) (9) des Spannungssteuers (14) in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung (U) der Strahlquelle (2) errichtet ist (sind).
6. Korpuskularstrahl optisches Gerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß in der Mitte des Endbildleuchtschirms (10) ein elektrisches Ausgangssignal liefernder Detektor (22) sowie zwischen Zwischenbildleuchtschirm (8) und Endbildleuchtschirm (10) ein mit Wechselspannung gespeistes, senkrecht zur Geräteachse wirkendes Ablenkensystem (20) angeordnet ist.
7. Korpuskularstrahl optisches Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Nähe der Eintrittspupille des Einfeld-Kondensorobjektivs (6) ein Astigmatismus-Detektor (A) in Form eines Sektorringes angeordnet ist, wobei den einzelnen Sektoren Löcher (O) in einem die Maske (M) umgebenden Maskenhalter (24) optisch entsprechen.

Die Erfindung bezieht sich auf ein korpuskularstrahl optisches Gerät zur Abbildung einer Maske auf ein zu bestrahlendes Präparat mit einer Strahlquelle, einem Kondensorlinsensystem, einem Stigmator, einem magnetischen Feldlinsensystem, in dem die Maske angeordnet und von zweier parallel verlaufenden Korpuskelbahnen durchsetzt ist, und einer magnetischen Projektivlinse, die das Bild der Maske in der Ebene des Präparats erzeugt.

Ein derartiges Gerät, das beispielsweise zur Herstellung von Mikroschaltungen auf Halbleiterplatten dient, ist in Form eines elektronenoptischen Verkleinerungsgerätes aus der Zeitschrift »Optik«, Bd. 36 (1972), Seiten 93 bis 110, bekannt. In diesem Gerät besteht das Kondensorlinsensystem aus einer einzigen magnetischen Linse. Als Feldlinsensystem ist ebenfalls eine magnetische Linse vorgesehen, in deren Feldmitte sich das Präparat befindet.

Ferner ist aus der deutschen Offenlegungsschrift 2 332 091 ein elektronenoptisches Verkleinerungsgerät bekannt, bei dem das Kondensor- und das Feldlinsensystem aus je zwei magnetischen Linsen bestehen. Zwischen den beiden Feldlinsen verlaufen die Elektronen auf zweier parallel verlaufenden Bahnen.

Bei den bekannten Geräten ist eine optimale Abbildung der Maske in der Präparatebene nur dann möglich, wenn das durch das Kondensorlinsensystem erzeugte, verkleinerte Quellenbild durch das Feldlinsensystem in der Ebene kleinster Fehler, insbesondere die verzeichnungs- und farbfeldfreie Ebene der magnetischen Projektivlinse, die die Maske auf das Präparat abbildet, übertragen wird.

Bei den bekannten Geräten ist die Übertragung des verkleinerten Quellenbildes in die genannte Ebene der magnetischen Projektivlinse bei verschiedenen Einstellungen der Erregungen von Kondensor- und Feldlinsensystem möglich. Diese Einstellungen haben unterschiedliche Bildfehler für das Bild der Maske auf dem Präparat zur Folge, je nach Lage des vom Feldlinsensystem entworfenen Bildes der Quelle relativ zur Projektivlinse, da sich die Bildfehler der Feldlinse bei einer Änderung der Erregung dieser Linse ebenfalls verändern. Es gibt eine Einstellung der Erregung von Kondensor- und Feldlinsensystem, bei der die Bildfehler minimal sind, d. h. die Güte der Abbildung besonders hoch ist. Diese Einstellung ist dadurch ausgezeichnet, daß

1. das Quellenbild durch das Kondensorlinsensystem in der Brennebene der ersten Hälfte des magnetischen Feldlinsensystems übertragen wird und
2. die Brennebene der zweiten Feldhälfte des magnetischen Feldlinsensystems mit der Ebene kleinster Fehler des Projektionslinsensystems aus Feldlinsen- und Projektivlinsenfeld zwischen Maske und Präparat identisch ist.

Bei den bekannten Kondensor- und Feldlinsensystemen in der beschriebenen optimalen Weise einen erheblichen Aufwand. Es ist nämlich in der Regel erforderlich, durch gleichzeitiges Verändern der Erregung der beiden Linsensysteme die optimale Einstellung zu finden bzw. wiederherzustellen. Das Auffinden dieser Einstellung gestaltet sich insbesondere deshalb schwierig, weil die Änderungen der Linsenerregungen infolge der unterschiedlichen Brennweiten dieser Linsensysteme mit unterschiedlichem Gewicht vorzunehmen sind.

läutert.

In den Figuren ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Es zeigt

Fig. 1 ein korpuskularstrahlendes Gerät zur Abbildung einer Maske auf ein zu bestrahlendes Präparat,

Fig. 2 den Strahlengang des Gerätes von Fig. 1, Fig. 3 eine Variante des Gerätes von Fig. 1,

Fig. 4 einen Astigmatismus-Detektor,

Fig. 5a, 5b die sich auf den Astigmatismus-Detektor ergebenden Beilichtungsfiguren im Falle eines zwei- oder dreizähligen Astigmatismus.

Fig. 1 zeigt ein elektronenoptisches Verkleinerungsgerät 1 zur Abbildung einer Maske M auf einem Präparat P . Es weist eine aus einer Kathode 2a und einer Anode 2b bestehende Strahlquelle 2, eine Aperturblende 3, einen elektrostatischen Kondensor 4, eine magnetische Feldlinse 5, in deren Mittelebene die Maske M liegt, und ein magnetisches Einfeld-Kondensorobjektiv 6 auf, dessen erste Feldhälfte als Projektivlinse dient.

Dem Verkleinerungsgerät 1 folgt in seinem Strahlengang ein Elektronenmikroskop 7. Dieses besteht aus dem Einfeld-Kondensorobjektiv 6, dessen zweite Feldhälfte als Projektivlinse dient, einem Zwischenbildleuchtschirm 8, einer elektrostatischen Projektivlinse 9 und einem zentralen Endbildleuchtschirm 10. Neben diesem sind im Abstand von 90° symmetrisch zur Achse 16 weitere vier Endbildleuchtschirme 13 mit gekippter Achse vorgesehen, von denen in der Figur lediglich zwei dargestellt sind. Auf den Leuchtschirmen 13 werden Elektronen, die definierte Prüföffnungen V der Maske M durchsetzen und die in den Randbereich des Zwischenbildleuchtschirms 8 fallen, jeweils punktförmig fokussiert; im Falle einer verzeichnungsfreien Abbildung der Maske M in der Präparatebene 12 liegen diese Punkte jeweils im Zentrum Z der Endbildleuchtschirme 13. Zu dieser Fokussierung sind vier den Endbildleuchtschirmen 13 zugeordnete Hilfs-Abbildungssysteme 11 zwischen dem Zwischenbildleuchtschirm 8 und den Endbildleuchtschirmen 13 angebracht, von denen in der Figur ebenfalls nur zwei zu sehen sind. Die Hilfs-Abbildungssysteme sind ebenfalls als elektrostatische Linsen ausgebildet.

Sämtliche elektrostatischen Linsen, d. h. der Kondensor 4 sowie die Projektivlinse 9 bzw. die elektrostatischen Linsen der Hilfs-Abbildungssysteme 11, sind in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U der Strahlquelle 2 erregt; die Spannung U besitzt einen Wert von z. B. 30 kV. Dazu dient ein Spannungsteiler 14, an den die als Einzelzellen ausgebildeten elektrostatischen Linsen 4, 9, 11 angeschlossen sind.

Der Strahlengang des in Fig. 1 dargestellten elektronenoptischen Verkleinerungsgerätes 1 ist in Fig. 2 gezeigt. Dabei sind die Abstände der Strahlen von der Achse 16 vergrößert wiedergegeben. Der Kondensor 4 überträgt den Crossover Q_c der Strahlquelle 2 verkleinert in die Ebene E_1 , deren Lage sich auf Grund des elektrostatischen Prinzips auch bei einer Änderung der Beschleunigungsspannung U nicht ändert. Diese Ebene entspricht der Brennebene der ersten Hälfte der magnetischen Feldlinse 5. Die Feldlinse 5 überträgt das in der Ebene E_1 vorliegende Quellenbild Q_1 in die Brennebene E_2 ihrer zweiten Feldhälfte, wobei sie die Maske M gleichmäßig, d. h. mit zueinander parallelen Elektronenbahnen, aus-

leuchtet. Das in dieser Ebene vorliegende Quellenbild Q_1 stellt die Eintrittspupille des Einfeld-Kondensorobjektivs 6 dar. Das Einfeld-Kondensorobjektiv 6, dessen Ebene kleinster Fehler mit der Ebene E_2 zusammenfällt, überträgt das Quellenbild Q_1 in eine Ebene E_3 . Wie aus dem Verlauf der eingezeichneten Strahlen 17, 18, 19 bzw. der diesen entsprechenden Strahlen 17', 18', 19' hervorgeht, bilden die Elektronen die Maske M in der Präparatebene 12 des Verkleinerungsgerätes 1 ab.

Die Güte der Abbildung ist auf den Endbildleuchtschirmen 10, 13 zu erkennen. Dabei ist auf dem zentralen Endbildleuchtschirm 10 die Schärfe der Abbildung der Maske M auf die Präparatebene 12 an Hand der Größe und Helligkeit der Bildpunkte zu beurteilen, während auf den Leuchtschirmen 13 die außerhalb der Bildpunkte der Verzeichnung, der Vergrößerungsfarbfehler von Bedeutung. Zur Bestimmung von Schärfe und Verzeichnung der Abbildung sind unterhalb der Projektivlinse 9 bzw. der Hilfs-Abbildungssysteme 11 elektrostatische Ablenkungssysteme in Form von Ablenkplattenpaaren 20, 21 sowie Halbleiter-Detektoren 22, 23 hinter zentralen Öffnungen Z der Leuchtschirme 10, 13 vorgesehen.

Die Ablenkplattenpaare 20, 21 liegen an einer Wechselspannung. Dies hat eine periodische Auslenkung der Bildpunkte auf den Endbildleuchtschirmen 10, 13 zur Folge. Tritt nun eine Verringerung der Bildschärfe, d. h. eine Verringerung der maximalen Helligkeit sowie eine Verbreiterung der Bildpunkte auf, so liefert ein unterhalb der zentralen Öffnung Z des Endbildleuchtschirms 10 angebrachter Halbleiter-Detektor 22 ein elektrisches Signal, aus dem die Bildschärfe bestimmt werden kann. Analysiert man nämlich das Signal nach Frequenzen, so ist z. B. die höchste auftretende Frequenz ein direktes Maß für die Bildschärfe.

Die unterhalb der Hilfs-Abbildungssysteme 11 vorgesehenen Ablenkplatten 21 dienen zur Bestimmung der Verzeichnung. Es sei eine tonnenförmige Verzeichnung angenommen. Die auf den Endbildleuchtschirmen 13 erzeugten Bildpunkte der Prüföffnungen V befinden sich beispielsweise an der Stelle V' außerhalb der zentralen Öffnung Z dieser Leuchtschirme. Die ebenfalls mit einer Wechselspannung beaufschlagten Ablenkplatten 21 führen den Bildpunkt über die zentrale Stelle Z der Leuchtschirme 13 hinweg. Die Halbleiter-Detektoren 23 liefern dann Wechselspannungssignale, die in einfacher Weise verarbeitet werden können; diese Signale sind nämlich dann am größten, wenn die Verzeichnung minimal ist. An Stelle der dargestellten elektrostatischen Ablenkelemente (Ablenkplattenpaare 20, 21) können auch magnetische Ablenkelemente vorgesehen sein.

Ferner ist es möglich, den Verzeichnungs- und Vergrößerungsfarbfehler der Abbildung an Hand der Lage der Bildpunkte auf den Leuchtschirmen 13 zu bestimmen. Dazu wird die Beschleunigungsspannung U um einen definierten Wert, z. B. um 10 V, geändert. Liegen die Bildpunkte ursprünglich im Zentrum Z der Leuchtschirme 13, so werden sie im Falle eines noch nicht korrigierten Verzeichnungsfehlers in einer bezüglich der Achse 16 des Mikroskops 7 tangentialen Richtung bzw. im Falle eines noch nicht korrigierten Vergrößerungsfarbfehlers in einer zu dieser Achse 16 radialen Richtung ausgelenkt. Vorausset-

zung für die Kompensation des Verdrehungsfehlers ist dabei, daß das magnetische Feldlinsensystem, d. h. in Fig. 1 die Feldlinse 5, in dem die Korpuskeln nach Durchtritt durch die Maske *M* beeinflussenden Teil und die magnetische Projektivlinse, d. h. in Fig. 1 die erste Hälfte des Einfeld-Kondensorobjektivs 6, in entgegengesetztem Sinne errigt sind.

Wie bereits eingangs erwähnt, ist es möglich, an Stelle der in Fig. 1 gezeigten Feldlinse 5 ein aus mehreren magnetischen Linsen bestehendes Feldlinsensystem vorzusehen. Ein derartiges System 5' mit zwei Linsen 31, 32 ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Die Elektronen verlaufen zwischen den beiden Linsen 31, 32 auf zueinander parallelen Bahnen. Das in Fig. 3 gezeigte Ausführungsbeispiel bietet die Möglichkeit, durch Änderung der axialen Lage der Maske *M* relativ zur Mittelebene 33 des Feldlinsensystems 5' den Vergrößerungs- und Verdrehungsfehler zu kompensieren; die Kompensation des letztgenannten Fehlers erfordert dabei, wie oben erwähnt, eine Erregung der Linse 32 und der magnetischen Projektivlinse in entgegengesetzter Weise.

In Fig. 1 ist ferner ein Stigmator *St* dargestellt, mit dem der Astigmatismus der Feldlinse 5 kompensierbar ist. Der Nachweis dieses Bildfehlers erfolgt über einen Detektor *A*, der in der Ebene der Eintrittspupille des Einfeld-Kondensorobjektivs 6 angebracht ist. Dem Detektor *A* sind Öffnungen *O* in einem die Maske *M* umgebenden Maskenhalter 24 zugeordnet (vgl. den Verlauf der Randstrahlen 30, 30' in Fig. 2). Der Aufbau des Astigmatismus-Detektors *A* sowie die Gestalt des zugeordneten Maskenhalters 24 sind in Fig. 4 dargestellt.

Fig. 4 zeigt den Maskenhalter 24, an dessen Rand die Öffnungen *O* vorgesehen sind. Die Öffnungen *O* sind in gleichen Abständen voneinander konzentrisch zur optischen Achse 16 des Verkleinerungsgerätes 1 angebracht. Den Öffnungen *O* entsprechen Metallplättchen 25 am Rande des Astigmatismus-Detektors *A*. Im Falle einer astigmatismusfreien Abbildung auf der Maske *M* auf die Registrierebene 12 sind die auf jedes der Metallplättchen 25 auftreffenden Elektronenströme untereinander gleich.

Ein zwei- bzw. dreizähliger Astigmatismus der Ab-

bildung hat eine Änderung der gleichförmigen Bestrahlung der Metallplättchen 25 zur Folge. Die Bestimmung des auf die Metallplättchen 25 auftreffenden Elektronenstromes beispielsweise mit Hilfe eines Strommeßgerätes 26, das nacheinander an die Metallplättchen 25 angeschlossen wird, liefert ein eindeutiges Signal für die Größe und Art des Astigmatismus. Dies ist an Hand der Fig. 5a, 5b verdeutlicht.

Fig. 5a zeigt die Bestrahlungsverhältnisse in der Ebene des Astigmatismus-Detektors *A* im Falle eines zweizähligen Astigmatismus. Die die Öffnungen *O* durchsetzenden Elektronenstrahlen treffen auf Stellen auf, die längs der eingezeichneten Linien 27 bzw. 28 angeordnet sind. Aus der Figur folgt, daß im Falle des zweizähligen Astigmatismus nur auf wenige, einander gegenüberliegende Metallplättchen 25 ein Elektronenstrom auftritt.

Die Beleuchtungsverhältnisse im Falle des dreizähligen Astigmatismus sind in Fig. 5b gezeigt. In der Ebene des Astigmatismus-Detektors *A* sind Punkte beleuchtet, die längs der eingezeichneten Linie 29 gelegen sind. Aus Fig. 5b folgt, daß der Astigmatismus-Detektor im wesentlichen an drei Stellen beleuchtet ist, die ein gleichseitiges Dreieck bilden.

Es sei erwähnt, daß der in Fig. 4 gezeigte Astigmatismus-Detektor *A* neben der Anzeige eines zwei- bzw. dreizähligen Astigmatismus sowie der vorgenommenen Korrektur dieser Bildfehler mit Hilfe des Stigmaters *St* auch dazu dienen kann, eine Änderung der Beschleunigungsspannung *U* nachzuweisen. Ändert sich die Beschleunigungsspannung *U*, so hat dies zur Folge, daß - eine astigmatismusfreie Abbildung vorausgesetzt - auf den Metallplättchen 25 des Detektors *A* eine gleichmäßige Verringerung bzw. Vergrößerung des auftreffenden Elektronenstromes festgestellt werden kann. Dieser Elektronenstrom kann ferner dazu dienen, die Belichtungszeit des Präparates zu bestimmen, da die auf die Metallplättchen 25 auftreffende Stromdichte der auf dem Präparat *P* einfallenden Stromdichte proportional ist.

Die Anwendung der Erfindung kommt vor allem bei einem elektronenoptischen Verkleinerungsgerät in Frage. Sie kann jedoch auch bei ionenoptischen Bestrahlungsgeräten verwendet werden.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

Fig. 2

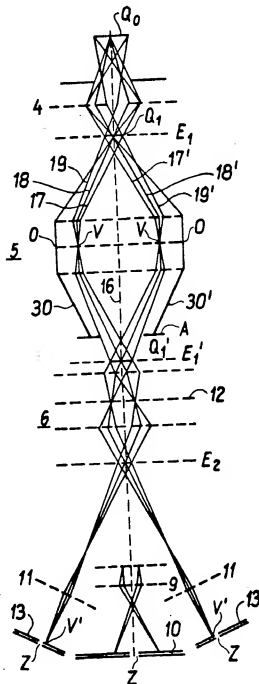


Fig. 3

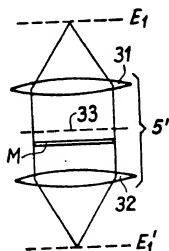


Fig. 4

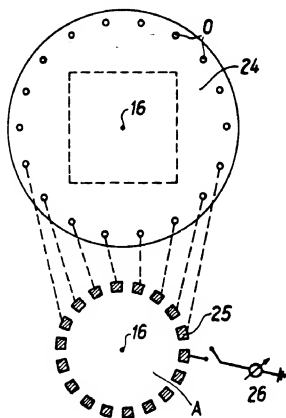


Fig. 5a

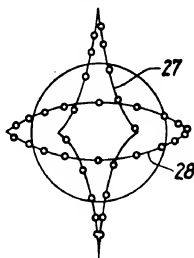


Fig. 5b

